

CONTEÚDO DE FÓSFORO ORGÂNICO EM AMOSTRAS DE SOLOS¹

JOSÉ GUILHERME M. GUERRA², DEJAIR LOPES DE ALMEIDA², GABRIEL DE ARAÚJO SANTOS³
e MANLIO SILVESTRE FERNANDES³

RESUMO - O experimento foi conduzido em laboratório, com o objetivo de estimar o conteúdo de fósforo orgânico (Po) total e sua fração lábil de amostras superficiais de solos compreendendo diferentes classes taxonômicas. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado; os tratamentos constaram de 17 amostras de solos. O conteúdo de Po total variou de 7 até 272 mg/kg de solo. O Po lábil variou de 6 até 35 mg/kg de solo, preponderando amplamente sobre o Pi lábil e correspondendo, em média, a 26% do Po total do solo. As análises revelaram que o conteúdo de Po total se correlacionou positivamente com P total e C total nos solos podzólicos, e com P total, Fe₂O₃ total e teor de argila nos solos latossolos. Em ambas as classes o Po lábil mostrou-se intimamente relacionado com o P disponível, o que evidencia o potencial de contribuição desta fração na disponibilidade do P destes solos.

Termos para indexação: solos podzólicos, solos latossolos, fósforo disponível.

ORGANIC PHOSPHORUS CONTENT IN SOIL SAMPLES

ABSTRACT - The objective of this laboratory investigation was to estimate the total organic phosphorus content, and labile organic phosphorus fraction of samples taken from the surface layer of soils of different taxonomic classes. The study was a completely randomized design with the treatments consisted of 17 soil samples. The content of total organic phosphorus varied from 7 to 272 mg/kg of soil. The labile organic phosphorus varied from 6 to 35 mg/kg of soil, being much greater than the labile inorganic phosphorus, and on average corresponding to 26% of the total organic P in the soil. Analysis revealed that total organic P was correlated with total P and C in ultisols and total P, Fe₂O₃ and clay content in oxisols. Thus, for both soil classes, the labile organic P was intimately related to the available P, indicating the potential contribution of this fraction to the availability of phosphorus in these soils.

Index terms: Ultisols, Oxisols, available phosphorus.

INTRODUÇÃO

O fósforo (P), principalmente nos horizontes superficiais do solo, encontra-se distribuído em forma orgânica e inorgânica. O conteúdo total e a distribuição destas frações mostram-se variáveis em fun-

ção do material de origem e fatores relacionados à gênese dos solos (Walker & Adams, 1959; Smeck, 1973, 1985; Adams & Walker, 1975; Walker & Syers, 1976).

O ciclo do P no solo tem sido conceitualmente definido a partir de transformações mensuráveis dos seus componentes inorgânicos e orgânicos (Stewart & McKercher, 1982; Tiessen & Stewart, 1983; Stewart & Sharpley, 1987; Stewart & Tiessen, 1987). Com a dissolução lenta dos minerais primários durante o processo de intemperização, o P inorgânico (Pi) migraria para a solução do solo, mantendo-se em equilíbrio com a fase sólida. Parte do Pi-solução seria precipitado na formação de minerais secundários e, em solos geneticamente mais evoluídos, convertido em formas oclusas. Parte do Pi seria absor-

¹ Aceito para publicação em 8 de fevereiro de 1996.

Extraído da Tese apresentada à Univ. Fed. Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) pelo primeiro autor para obtenção do grau de Ph.D. em Agronomia.

² Eng. Agr., Ph.D., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiol. (CNPAB), Caixa Postal 74505, CEP 23851-970, Itaguaí, RJ.

³ Eng. Agr., Prof., Ph.D., UFRRJ/Dep. de Solos, CEP 23851-970, Itaguaí, RJ.

vido pelos vegetais, retornando nos resíduos, e parte seria assimilado pela biomassa microbiana, sendo reintroduzido na solução como Pi ou P orgânico (Po) após predação ou lise celular. A decomposição dos resíduos e mineralização do Po fornecerá Pi para a reassimilação microbiana, absorção vegetal e reação com os componentes minerais. Concomitantemente, o Po-solução seria estabilizado junto à matéria orgânica ou poderia interagir com os componentes minerais do solo.

A disponibilidade biológica do elemento seria controlada não apenas pelo equilíbrio entre Pi-solução e fase sólida, mas também pelos fatores que afetam o equilíbrio entre Po-solução e fase sólida do solo. Entretanto, investigações sobre o reservatório orgânico do P nos solos brasileiros têm sido objeto de poucos trabalhos (Catani 1957; Neptune et al., 1975; Condrón et al., 1990).

O presente trabalho teve como objetivo estimar o conteúdo de P orgânico total e sua fração lábil em amostras superficiais de solos compreendendo diferentes classes taxonômicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em laboratório, com amostras compostas retiradas dos horizontes superficiais (0-20 cm) oriundas de solos sob cobertura vegetal de gramíneas forrageiras. A procedência, classificação, distribuição granulométrica e características químicas dos solos encontram-se na Tabela 1. A distribuição granulométrica e as características químicas foram determinadas de acordo com EMBRAPA (1979), com exceção do conteúdo de P total, estimado a partir de digestão nítrico-perclórica (Bataglia et al., 1983) e N total (Bremner & Mulvaney, 1982). O P disponível foi obtido através da extração com solução combinada de H₂SO₄ 0,025N e HCL 0,05N.

Procedeu-se à determinação das frações orgânicas e inorgânicas totais do P do solo a partir do método de Bowman (1989) e, separadamente, das frações lábeis de acordo com Bowman & Cole (1978a). Realizaram-se adaptações nos métodos originais a fim de adequá-los às condições existentes no laboratório do CNPAB/EMBRAPA. As amostras foram padronizadas a partir da secagem ao ar, peneiramento através de malha de 2 mm de abertura, e moagem após remoção de fragmentos de raízes.

As frações orgânicas e inorgânicas totais do P foram recuperadas pelo ataque da amostra de solo com H₂SO₄

TABELA 1. Identificação, procedência, classificação, distribuição granulométrica e características químicas¹ das amostras dos solos.

Identificação	Procedência	Classificação	Areia	Silte	Argila	pH	Troável			K	Disp.		P ³	N	C	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr
							Ca+Mg	Al	Ca+Mg		P ²	P ³							
AQ	Brasília/DF	Areia Quartzosa	920	20	60	4,9	3,0	7,5	0,8	1,7	87	600	4,9	19,6	16,0	2,65	1,75		
PL	Itaguaí/RJ	Planossolo	920	70	10	5,6	0,0	10,0	0,6	6,7	95	300	3,0	3,0	12,0	8,17	1,94		
PV1	Itaocara/RJ	Pod. Ver. amar.	670	190	140	5,8	0,0	49,5	2,8	3,4	267	2200	7,5	59,1	25,5	1,83	1,43		
PV2	Itaguaí/RJ	Pod. Ver. amar.	720	70	210	4,5	5,5	23,0	1,0	6,3	202	700	8,0	101,4	31,5	1,79	1,51		
PV3	Parabá do Sul/RJ	Pod. Ver. amar.	570	150	280	4,3	7,0	20,5	0,9	1,6	345	800	10,0	123,3	53,0	1,28	1,02		
PV4	Natividade/RJ	Pod. Ver. amar.	530	170	300	4,9	3,5	30,0	1,3	2,6	360	2300	9,1	112,0	73,0	1,67	1,18		
PV5	Nova Friburgo/RJ	Pod. Ver. amar. A húmico	430	160	410	4,4	14,0	20,0	2,9	15,3	1237	2600	29,8	186,1	71,5	1,04	0,94		
BV	Rio de Janeiro/RJ	Brunizem A vermelhado	560	220	220	5,4	2,0	124,5	1,2	128,0	1450	1700	12,4	84,9	89,5	1,95	1,16		
PVL1	Parabá do Sul/RJ	Pod. Ver. amar. Lat.	550	150	300	4,0	10,5	14,5	1,5	7,0	472	1100	12,2	149,9	73,5	1,32	1,18		
PVL2	Pirai/RJ	Pod. Ver. amar. Lat.	380	220	400	3,8	15,0	9,0	3,4	2,6	440	1300	16,2	183,3	70,0	1,46	1,16		
LV1	Magé/RJ	Lat. Ver. amar.	420	200	380	4,0	15,0	26,0	1,5	6,2	397	1800	21,7	187,3	92,5	1,12	0,80		
LV2	Volta Redonda/RJ	Lat. Ver. amar.	460	150	390	3,3	44,5	6,5	0,8	6,6	347	2000	20,5	162,8	86,0	1,42	0,99		
LV3	Natividade/RJ	Lat. Ver. amar.	470	120	410	4,0	16,0	10,0	2,1	4,4	397	1500	16,3	172,2	61,0	1,39	1,13		
LV4	Lavras/MG	Lat. Ver. amar.	330	240	430	3,9	10,0	8,0	0,6	0,0	132	900	11,1	231,9	41,0	0,96	0,86		
LV5	Bom Jardim/RJ	Lat. Ver. amar. A húmico	410	50	540	4,1	18,0	8,5	0,7	1,3	407	1600	15,8	192,4	87,0	1,23	1,02		
LE	Lavras/MG	Lat. Ver. esc.	90	280	630	4,6	5,0	5,0	1,7	0,0	462	1300	14,9	255,4	183,0	1,07	0,73		
LR	Lavras/MG	Lat. Roxo	160	150	690	4,5	6,0	7,0	0,8	0,0	557	1500	17,4	250,2	225,0	0,79	0,50		

¹De acordo com EMBRAPA (1979), exceto P total (Bataglia et al., 1983) e N total (Bremner & Mulvaney, 1982); ²H₂SO₄ 0,025 N + HCL 0,05 N; ³digestão nítrico-perclórica; ⁴Ki = SiO₂/Al₂O₃; Kr = SiO₂/Al₂O₃ + Fe₂O₃.

concentrado, seguido da adição de água destilada e, seqüencialmente, extração com NaOH 0,5N à 80°C. As frações lábeis foram recuperadas após extração com solução de NaHCO₃ 0,5 N à pH 8,5. O conteúdo de P orgânico (Po) das amostras foi estimado a partir da diferença entre o P total (Pi + Po) e o P inorgânico (Pi) recuperados nos extratos. O P total foi determinado em alíquota que sofreu digestão com ácido perclórico, e o Pi foi determinado após clarificação de alíquota do mesmo extrato com carvão ativo. A dosagem do P foi feita em espectrofotômetro, na faixa do visível (660 nm), a partir da formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato em meio sulfúrico, na presença de ácido ascórbico como redutor (EMBRAPA, 1979). A descrição detalhada dos métodos foi feita por Guerra (1993).

O procedimento estatístico adotado obedeceu a um delineamento inteiramente casualizado com dezessete tratamentos (amostras) e três repetições. As análises de variância foram executadas com auxílio do programa estatístico SISTANVA, desenvolvido pela EMBRAPA/CNPMS. Análises de correlação simples foram executadas plotando-se características físicas e químicas e o conteúdo de P orgânico total e P orgânico lábil; as análises

foram realizadas considerando-se as amostras dos solos em conjunto, isolando-se os Podzólicos típicos (PV1 a PV5) e os Latossolos (LV1 a LV5, LE e LR). De modo análogo foram realizadas análises de correlação entre o P disponível e o P orgânico total e o P orgânico lábil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O emprego do método de Bowman (1989) para a determinação do conteúdo de Po total das amostras foi definido a partir dos resultados obtidos por Guerra (1993), que comparou este método com outro de extração (Bowman & Cole, 1978b) e com o de ignição proposto por Saunders & Williams (1955). O método de Bowman, de acordo com Guerra (1993), além de aliar rapidez e praticidade demonstrou maior acurácia na caracterização do Po total de amostras de solos com estágio avançado de intemperização.

Nota-se na Tabela 2 que o método recuperou quantidades variáveis de Pi+Po em relação ao P to-

TABELA 2. Frações do fósforo total estimadas nas amostras dos solos.

Solo	Fração					
	Pi + Po ¹		Pi		Po	
	Total ²	Lábil ³	Total	Lábil	Total	Lábil
	----- mg/kg solo -----					
AQ	54(62) ⁴	9,5	47	3,0	7	6,0
PL	92(97)	16,2	63	5,3	29	10,9
PV1	175(65)	16,2	92	4,6	83	11,6
PV2	154(76)	12,4	100	4,4	54	8,0
PV3	191(55)	13,7	146	3,5	45	10,2
PV4	265(74)	16,7	170	5,0	95	11,7
PV5	825(67)	55,5	662	20,5	163	35,0
BV	1581(109)	65,2	1309	48,0	272	17,1
PVL1	252(53)	22,6	203	7,2	49	15,4
PVL2	212(48)	18,8	167	4,3	45	14,5
LV1	266(67)	26,3	182	7,0	84	19,3
LV2	192(55)	27,6	156	6,7	36	20,9
LV3	244(61)	22,0	187	6,1	57	15,9
LV4	96(73)	7,6	74	1,1	22	6,5
LV5	284(70)	14,8	214	3,8	70	11,0
LE	327(71)	9,2	237	1,0	90	8,2
LR	475(85)	13,4	271	2,7	204	10,7
DMSp<0,05 ⁵	18	3,7	19	2,1	16	2,8

¹Pi+Po: fósforo inorgânico+fósforo orgânico.

²Extração seqüencial com H₂SO₄ concentrado+NaOH 0,5N a 80°C (Bowman, 1989).

³Extração com NaHCO₃ 0,5N a pH 8,5 (Bowman & Cole, 1978a).

⁴Recuperação percentual em relação ao P total das amostras.

⁵Teste de Tukey.

tal do solo, representando desde 48 a 97 e 109%, respectivamente, para PVL2, PL e BV, com um valor médio de 63%. No entanto, a variação observada na taxa de recuperação não apresentou correlação significativa ($p < 0,05$) com nenhuma das características das amostras. Condrón et al. (1990), empregando o mesmo método, observaram taxas de recuperação variáveis desde 30 até 107% do P total, e também não relacionaram as taxas com nenhuma das variáveis determinadas. No trabalho original de Bowman (1989) não foram apresentados os valores de P total das amostras e, por isso, não podem ser realizadas comparações.

O conteúdo de Po total apresentou um valor médio de 50 mg/kg de solo, variável de 7 até 272 mg/kg de solo, demonstrando a capacidade diferencial na acumulação de P organicamente combinado nos solos. O menor conteúdo de Po foi observado na amostra AQ e o maior na amostra BV, os quais apresentaram, respectivamente, o mais baixo e o mais elevado teor de P total (Tabela 1). Considerando-se apenas os Podzólicos típicos e Latossolos, os valores médios aumentaram, respectivamente, para 88 e 80 mg de Po/kg de solo (Tabela 2), destacando-se as amostras PV5, apresentando teores elevados de P e C totais (Tabela 1), e LR com o teor mais elevado de P total dentre os Latossolos.

Os resultados mostraram semelhança com os encontrados por Condrón et al. (1990), cujos valores médios atingiram 88 mg de Po/kg de solo em amostras de solos da África e do Nordeste do Brasil, mas bem inferiores aos relatados por Bornemiza & Igue (1967) em solos da Costa Rica, cujo valor médio foi de 405 mg de Po, e superior a 21 mg de Po/kg de solo encontrado por Ipinmidun (1973), também para solos tropicais, utilizando o método de extração de Mehta et al. (1954). Neptune et al. (1975), empregando um método de ignição, observaram um valor médio de 145 mg de Po/kg de solo para amostras de São Paulo e Paraná, sendo que, os resultados, possivelmente, superestimaram o conteúdo em função do método empregado.

A distribuição percentual das frações orgânica e inorgânica totais do P encontra-se na Fig. 1. Nota-se o predomínio de fração inorgânica, atingindo acima de 50% do P total recuperado pelo método. A

Solo

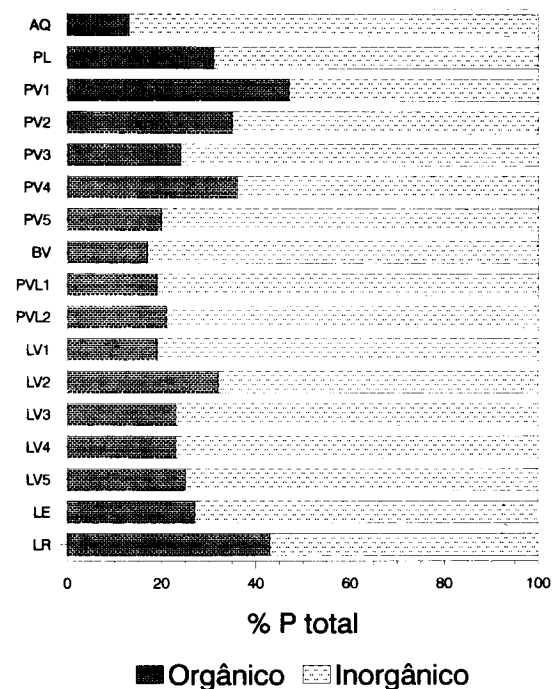


FIG. 1. Distribuição percentual das frações totais do fósforo (extração seqüencial com H_2SO_4 concentrado + $NaOH$ 0,5N a $80^\circ C$) determinadas nas amostras dos solos.

fração orgânica variou de 13% a 47% do P recuperado, respectivamente, nas amostras AQ e PV1. De maneira geral, o predomínio do Pi sobre Po total tem sido relatado em solos tropicais geneticamente evoluídos (Dahnke et al., 1964; Bornemiza & Igue, 1967; Westin & Brito, 1969; Ipinmidun, 1973; Neptune et al., 1975; Soltanpour et al., 1987; Condrón et al., 1990), em concordância com as observações de Walker & Adams (1959) sobre o curso da acumulação de P durante a pedogênese, em que as quantidades de Po seriam pequenas no início da formação do solo, aumentariam em solos fracamente intemperizados, e declinariam nos solos fortemente intemperizados.

As frações lábeis do P foram determinadas à parte, como proposto por Bowman (1989), e os resultados, encontram-se na Tabela 2. O conteúdo de Pi, freqüentemente utilizado como índice de disponibilidade para as plantas (Olsen et al., 1954), como esperado, correlacionou-se significativamente

($p < 0,001$) com os valores de P disponível das amostras (Tabela 1), mostrando-se baixo, com exceção das amostras PV5 e BV. Todavia, notou-se que as quantidades totais recuperadas foram bem maiores, o que demonstra a participação preponderante das formas orgânicas fracamente ligadas à matriz do solo. O Po lábil variou de 6,0 a 35,0 mg/kg de solo, com valor médio de 13,7 mg Po/kg, enquanto o Pi apresentou valor médio de 7,9 mg/kg de solo.

Diferentemente da distribuição das frações orgânicas e inorgânicas totais (Fig. 1), acima de 60% do P lábil ocorreu em forma orgânica (Fig. 2) (exceção para a amostra BV), alcançando até 87 e 89%, respectivamente, nas amostras LV4 e LE. O Po lábil correspondeu, em média, a 26% do Po total, variando de 5% na amostra LR até 86% do Po total na amostra AQ.

Embora a disponibilidade do P para as plantas seja amplamente controlada pelo equilíbrio (fator capacidade) entre o Pi na solução (intensidade) e Pi na fase sólida do solo (quantidade) (Olsen &

Khasawneh, 1986), a constatação do predomínio do Po sobre Pi lábil, demonstrada aqui e em outros trabalhos (Bowman & Cole, 1978b; Thien & Myers, 1992), notadamente em solos onde os teores disponíveis são baixos, sugere que a contribuição potencial da fração orgânica poderia estar subestimada em determinadas situações de clima, solo e cobertura vegetal. Tiessen et al. (1984) concluíram que em solos altamente intemperizados o P disponível estaria intimamente associado às frações do Po. Em concordância com esta asserção, nota-se, na Tabela 3, a existência de correlação positiva entre o P disponível e o Po lábil nos Podzólicos e Latossolos.

Os coeficientes de correlação simples entre Po total, Po lábil e certas características das amostras, considerando-se os solos em conjunto e isolando-se as duas principais classes taxonômicas (Podzólicos típicos e Latossolos) sob avaliação, encontram-se na Tabela 3. Pode-se notar que o conteúdo de Po total mostrou-se positivamente correlacionado com o P total do solo, independentemente da classe taxonômica, evidenciando, como sugerido por Walker & Adams (1958), o controle exercido pelo P sobre a produção de matéria orgânica e, por conseguinte, a acumulação do Po, mediada pela atividade da biomassa microbiana do solo.

Todavia, trabalhos realizados em cronotoposequências (Smeck, 1973, 1985; Adams & Walker, 1975; Walker & Syers, 1976) têm demonstrado que tanto a perda de P por erosão, como a passagem do P contido em minerais primários para formas secundárias ao longo da pedogênese, provoca uma ruptura no ciclo orgânico do solo. De acordo com estes autores, em solos altamente intemperizados os principais drenos de Pi da solução do solo seriam, no reservatório inorgânico, a oclusão de Pi, e no reservatório orgânico, a acumulação de Po em forma altamente estável, e ambos apresentariam um elevado tempo de residência. A ruptura, portanto, deveria ser detectada inicialmente nos componentes mais transitórios do P, os quais apresentariam menor tempo de residência no solo. Em concordância com isto, a diferenciação entre as classes foi observada na fração lábil do Po. Enquanto nos Podzólicos detectou-se uma correlação positiva entre Po lábil e P total, isto não ocorreu nos Latossolos (Tabela 3), o que sugere a ocorrência de

Solo

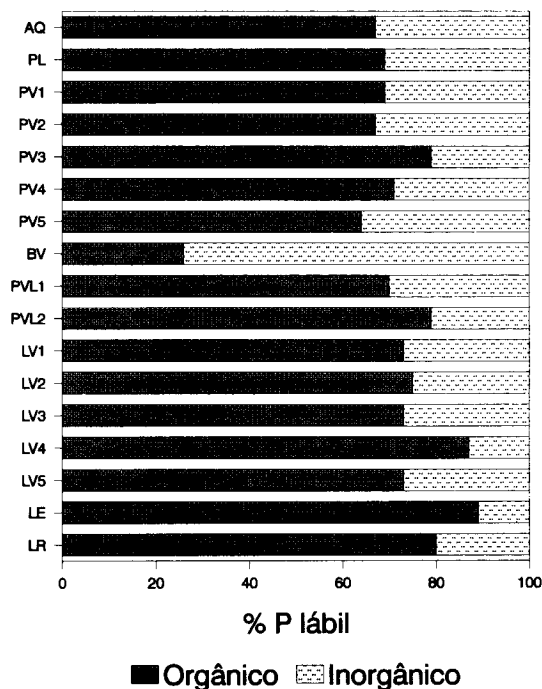


FIG. 2. Distribuição percentual das frações lábeis do fósforo (extração com NaHCO_3 0,5N a pH 8,5) determinadas nas amostras dos solos.

TABELA 3. Coeficientes de correlação linear (r) entre fósforo orgânico total, fósforo orgânico lábil e fósforo disponível com algumas características físico-mecânicas e químicas das amostras dos solos.

Características das amostras	Solos ¹					
	Podzólicos		Latossolos		Conjunto	
	P orgânico					
	Total ²	Lábil ³	Total	Lábil	Total	Lábil
Areia (g/kg)	-0,765	-0,799	-0,606	0,670	-0,342	-0,149
Silte (g/kg)	0,397	0,274	-0,077	-0,342	0,329	0,144
Argila (g/kg)	0,686	0,781	0,779*	-0,616	0,289	0,122
pH	-0,023	-0,264	0,675	-0,646	0,319	-0,228
Al trocável (mmol _c /kg)	0,606	0,813	-0,476	0,739	-0,218	0,445
Ca+Mg+K trocáveis (mmol _c /kg)	-0,025	-0,244	-0,030	0,509	0,690**	0,174
Al ₂ O ₃ total (g/kg)	0,665	0,821	0,531	-0,825*	0,184	0,167
Fe ₂ O ₃ total (g/kg)	0,583	0,563	0,885**	-0,252	0,544	0,056
C total (g/kg)	0,879*	0,987**	0,208	0,893**	0,365	0,806***
N total (mg/kg)	0,847	0,641	0,086	0,891**	0,489*	0,669**
P total (mg/kg)	0,907*	0,994***	0,814*	0,149	0,858***	0,670**
Po total (mg/kg)	-	0,935*	-	-0,164	-	0,381
	----- P disponível ⁴ -----					
Po total (mg/kg)	0,833		-0,360			0,713**
Po lábil (mg/kg)	0,910*		0,974***			0,230

¹Número de observações: 5, 7 e 17, respectivamente, para Podzólicos, Latossolos e análise conjunta das amostras.

²Extração seqüencial com H₂SO₄ concentrado + NaOH 0,5N à 80°C (Bowman, 1989).

³Extração com NaHCO₃ 0,5N à pH 8,5 (Bowman & Cole, 1978a).

⁴Extração com H₂SO₄ 0,025N + HCl 0,05N (EMBRAPA, 1979).

*Significância p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.

uma descontinuidade nas transformações biológicas de curta duração nestes solos.

O caráter dicotômico foi verificado ainda entre o Po total e o C total. Nos Podzólicos, estas características mostraram-se intimamente relacionadas, porém o mesmo não ocorreu com os Latossolos. Conquanto a interrelação entre Po total e C total tenha sido frequentemente observada (Walker & Adams, 1958; Dormaar & Webster, 1963; Fares et al., 1974; Tiessen et al., 1984), trabalhos realizados com solos tropicais não têm sistematicamente demonstrado sua ocorrência, notadamente em solos geneticamente evoluídos (Dahnke et al., 1964; Westin & Brito, 1969; Ipinmidun, 1973; Neptune et al., 1975), o que evidencia, como sugerido na literatura, a existência de mecanismos distintos operando na estabilização do Po (Halstead & Mckercher, 1975; McGill & Cole, 1981; Stewart & Mckercher, 1982; Stewart & Tiessen, 1987).

Os coeficientes de correlação positivos e significativos entre Po total e conteúdo de argila e Fe₂O₃ total nos Latossolos sugeriram que a estabilização

poderia ocorrer diretamente junto a este componente granulométrico, com o envolvimento de compostos do Fe. Substâncias orgânicas de natureza química definida, como os ésteres do P, de elevada densidade de carga, poderiam reagir com colóides inorgânicos presentes na fração argila (Goring & Bartholomew, 1950; Williams & Saunders, 1956; Anderson & Arlidge, 1962; Tiessen & Stewart, 1983), em sítios similares aos envolvidos na adsorção do Pi (Mckercher & Anderson, 1968; Anderson et al., 1974), formando complexos argilo-orgânicos (Greenland, 1965, 1971). Óxidos e hidróxidos de Fe e Al possivelmente atuam como agentes estabilizadores dos complexos (Greenland, 1965; Anderson, 1986). Contudo, a participação de compostos do Al, estimada a partir da análise de correlação, ao contrário do Fe, não foi aqui verificada com base na determinação expedita do Al₂O₃ total.

Os coeficientes positivos e significativos entre Po lábil e C total, P disponível e Po lábil, notadamente nos Podzólicos e Latossolos aparentemente revelaram similaridade entre os mecanismos de mobi-

lização do Po no reservatório lábil. Como o Po lábil é essencialmente o produto do metabolismo microbiano (Harrison, 1987), e como a microbiota do solo é fundamentalmente quimioorganotrófica (Alexander, 1977; Paul & Clark, 1989), a disponibilidade de substratos de C seria fator regulador da síntese do Po, já demonstrado em trabalhos de curta duração, onde fontes de energia e Pi foram incorporadas ao solo (Chauhan et al., 1979, 1981; Hedley et al., 1982). Desta forma, a fertilização fosfática, necessária para atender os requerimentos de P das culturas nestes solos, juntamente com práticas conservacionistas que privilegiem o manejo de resíduos orgânicos, poderiam atenuar em médio e longo prazo os problemas relacionados com a baixa eficiência de recuperação do P do fertilizante, através da passagem do Pi fertilizante para Po lábil.

Considerando que a fração orgânica lábil encontra-se fracamente ligada à fase sólida do solo e, portanto, mais acessível à mineralização, a relação íntima com o P disponível sugere que o reservatório lábil deve ocupar um papel na fertilidade do solo, maior do que o antes reconhecido, principalmente em solos de baixa fertilidade natural.

CONCLUSÕES

1. O conteúdo de fósforo orgânico total apresenta ampla variação entre as amostras, representando, em média, 27% do P total recuperado.

2. Nos solos Podzólicos, o P orgânico total se correlaciona positivamente com o P e o C total.

3. Nos solos Latossolos, o P orgânico total se correlaciona positivamente com o P e o Fe total e com o teor de argila.

4. O P orgânico presente em forma lábil representa, em média, 26% do P orgânico total, predominando amplamente sobre a fração inorgânica lábil.

5. O P orgânico lábil se correlaciona positivamente com o P disponível nos solos Podzólicos e Latossolos.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, J.A.; WALKER, T.W. Some properties of a cronotoposequence of soils from granite in New Zealand, 2. Forms and amounts of phosphorus. *Geoderma*, Amsterdam, v.3, p.41-51, 1975.
- ALEXANDER, M. *Introduction to soil microbiology*. 2. ed. New York: John Wiley, 1977. 467p.
- ANDERSON, G. Assessing organic phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J.(Eds.). *The role of phosphorus in agriculture*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.411-431.
- ANDERSON, G.; ARLIDGE, E.Z. The adsorption of inositol phosphates and glycerophosphate by soil clays, clay minerals and hydrated sesquioxides in acid media. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.13, p.216-224, 1962.
- ANDERSON, G.; WILLIAMS, E.G.; MOIR, J.O. A comparison of the sorption of inorganic orthophosphate and inositol hexaphosphate by six acid soils. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.25, p.51-62, 1974.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. *Boletim Técnico do Instituto Agrônomo*, Campinas, n.78, p.1-48, 1983.
- BORNEMIZA, E.; IGUE, K. Comparison of three methods for determining organic phosphorus in Costa Rica soils. *Soil Science*, Baltimore, v.103, p.347-353, 1967.
- BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.53, p.362-366, 1989.
- BOWMAN, R.A.; COLE, C.V. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO₃ extraction. *Soil Science*, Baltimore, v.125, p.49-54, 1978a.
- BOWMAN, R.A.; COLE, C.V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science*, Baltimore, v.125, p.95-101, 1978b.
- BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen-total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.A.; KEENEY, D.R., (Eds.). *Methods of soil analysis*, 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. Part 2, p.595-624 (Agronomy, 9).

- CATANI, R.A. Formas de ocorrência do fósforo nos solos do Estado de São Paulo. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.32, p.147-163, 1957.
- CHAUHAN, B.S.; STEWART, J.W.B.; PAUL, E.A. Effect of carbon additions on soil labile inorganic, organic, and microbially held phosphate. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.59, p.387-396, 1979.
- CHAUHAN, B.S.; STEWART, J.W.B.; PAUL, E.A. Effect of labile inorganic phosphate status and organic carbon additions on the microbial uptake of phosphorus in soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.61, p.373-385, 1981.
- CONDON, L.M.; MOIR, J.O.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p.1261-1266, 1990.
- DAHNIKE, W.C.; MALCOLM, J.L.; MENÉNDEZ, M.E. Phosphorus fractions in selected soil profiles of El Salvador as related to their development. **Soil Science**, Baltimore, v.98, p.33-38, 1964.
- DORMAAR, J.F.; WEBSTER, G.R. Status of organic phosphorus in some Alberta soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.43, p.27-34, 1963.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- FARES, F.; FARDEAU, J.C.; JACQUIN, F. Quantitative survey of organic phosphorus in different soil types. **Phosphorus in Agriculture**, Paris, v.28, p.25-40, 1974.
- GORING, C.A.I.; BARTHOLOMEW, W.V. Microbial products and soil organic matter. 3. Adsorption of carbohydrate phosphate by clays. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.15, p.189-194, 1950.
- GREENLAND, D.J. Interactions between clays and organic compounds in soils. Part II. Adsorption of soil organic compounds and its effect on soil properties. **Soils and Fertilizers**, Wallingford, v.28, p.521-532, 1965.
- GREENLAND, D.J. Interactions between humic and fulvic acids and clays. **Soil Science**, Baltimore, v.111, p.34-41, 1971.
- GUERRA, J.G.M. **Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* Stapf., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural**. Itaguaí:UFRRJ, 1993. 234p. Tese de Doutorado.
- HALSTEAD, R.L.; MCKERCHER, R.B. Biochemistry and cycling of phosphorus. In: PAUL, E.A.; MCLAREN, A.D. (Eds.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1975. v.4, p.31-63.
- HARRISON, A.F. **Soil organic phosphorus**. Wallingford: CAB International, 1987. 257p.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.970-976, 1982.
- IPINMIDUN, W.B. Comparison of some methods for determining organic phosphorus in some Nigerian soils. **Soil Science**, Baltimore, v.115, p.324-325, 1973.
- MCGILL, W.B.; COLE, C.V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. **Geoderma**, Amsterdam, v.26, p.267-286, 1981.
- MCKERCHER, R.B.; ANDERSON, G. Content of inositol penta- and hexaphosphates in some Canadian soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.19, p.47-55, 1968.
- MEHTA, N.C.; LEGG, J.O.; GORING, C.A.I.; BLACK, C.A. Determination of organic phosphorus in soils. I. Extraction method. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.18, p.443-449, 1954.
- NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A.; HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.39, p.51-55, 1975.
- OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; WATANABE, F.S.; DEAN, L.A. **Estimation of available phosphorus in soils**

- by extraction with sodium bicarbonate. Washington: United States Department of Agriculture, 1954. 19p. (United States Department of Agriculture. Circular, 939).
- OLSEN, S.R.; KHASAWNEH, F.E. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Eds.). **The role of phosphorus in agriculture**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.361-410.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989. 273p.
- SAUNDERS, W.M.H.; WILLIAMS, E.Q. Observation on the determination of total organic phosphorus in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.6, p.254-267, 1955.
- SMECK, N.E. Phosphorus: an indicator of pedogenetic weathering processes. **Soil Science**, Baltimore, v.115, p.199-206, 1973.
- SMECK, N.E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. **Geoderma**, Amsterdam, v.36, p.185-199, 1985.
- SOLTANPOUR, P.N.; FOX, R.L.; JONES, R.C. A quick method to extract organic phosphorus from soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.255-256, 1987.
- STEWART, J.W.B.; MCKERCHER, R.B. Phosphorus cycle. In: BURNS, R.G.; SLATER, J.H. (Eds.). **Experimental microbial ecology**. Oxford: Blackwells, 1982. p.221-228.
- STEWART, J.W.B.; SHARPLEY, A.N. Controls on Dynamics of Soil and Fertilizer Phosphorus and Sulfur. In: FOLLET, R.F.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V., (Eds.). **Soil fertility and organic matter as critical components of production systems**. Madison: American Society of Agronomy, 1987. p.101-121.
- STEWART, J.W.B.; TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. **Biogeochemistry**, Netherlands, v.4, p.41-60, 1987.
- THIEN, S.J.; MYERS, R. Determination of bioavailable phosphorus in soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.814-818, 1992.
- TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. The biogeochemistry of soil phosphorus. In: CALDWELL, D.E.; BRIERLEY, J.A.; BRIERLEY, C.L., (Eds.). **Planetary Ecology**. New York: Van Nostrand, 1983. p.463-472.
- TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.853-858, 1984.
- WALKER, T.W.; ADAMS, A.F.R. Studies on soil organic: 1. Influence of phosphorus content of parent materials on accumulations of carbon, nitrogen, sulfur and organic phosphorus in grassland soils. **Soil Science**, Baltimore, v.85, p.307-318, 1958.
- WALKER, T.W.; ADAMS, A.F.R. Studies on soil organic matter: 3. Influence of increased leaching at various stages of weathering on levels of carbon, nitrogen, sulfur, organic and inorganic phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v.87, p.1-10, 1959.
- WALKER, T.W.; SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, Amsterdam, v.15, p.1-19, 1976.
- WESTIN, F.C.; BRITO, J.G.de. Phosphorus fractions of some Venezuelan soils as related to their stage of weathering. **Soil Science**, Baltimore, v.10 p.194-202, 1969.
- WILLIAMS, G.; SAUNDERS, W.M.H. Distribution of phosphorus in profiles and particle-size fractions of some Scottish soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.7, p.90-108, 1956.